

621.71.9:001.895(075.8)

УДК 621:001.895(075.8)

ББК 34.4я73

К49

Рецензенты:

кафедра «Технология машиностроения»
Белорусского национального технического университета
(доктор технических наук, профессор Ю. В. Синькевич);
доктор технических наук, профессор В. И. Жорник

Клименков, С. С.

К49 **Инновационные технологии в машиностроении : учеб.
пособие / С. С. Клименков, В. В. Рубаник. – Минск : Бела-
русская наука, 2021. – 404 с.
ISBN 975-985-08-2760-9.**

В учебном пособии рассмотрены новейшие электрофизические и физико-технические технологии обработки материалов. Изложены основы инновационных технологий в области обработки металлов давлением, литейного, сварочного производства, механической обработки.

Адресуется студентам второй ступени высшего образования по специальности: 1-36 80 02 «Инновационные технологии в машиностроении», будет полезен для учащихся технических колледжей, а также слушателей системы повышения квалификации и инженерно-технических работников.

УДК 621:001.895(075.8)

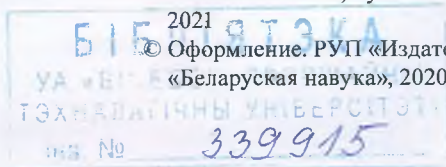
ББК 34.4я73

ISBN 975-985-08-2760-9

© Клименков С. С., Рубаник В. В. (мл.),

2021

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2020



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	9
Глава 1. Инновационные технологии обработки резанием	11
1.1. Высокоскоростная обработка резанием	11
1.1.1. Инструментальные материалы для высокоскоростной обработки.....	12
1.1.2. Особенности станков для высокоскоростной обработки	15
1.2. Комбинированные методы механической обработки.....	16
1.2.1. Деформационно-механическая обработка.....	17
1.2.2. Вибромеханическое резание.....	18
1.2.3. Электромеханическая обработка	20
1.2.4. Магнитно-абразивная обработка.....	22
1.3. Гидроабразивная обработка	24
1.3.1. Физические особенности гидроабразивной обработки	24
1.3.2. Струйно-абразивная обработка поверхностей.....	25
1.3.2.1. Применение струйно-абразивной обработки поверхностей.....	31
1.3.3. Гидроабразивная резка.....	33
1.3.3.1. Технологические основы гидроабразивной резки.....	33
1.3.3.2. Технологическое оборудование для гидроабразивной резки.....	38
1.4. Криогенная обработка.....	43
1.4.1. Физическая сущность криогенной обработки.....	43
1.4.2. Оборудование и инструмент для криогенной обработки.....	45
Глава 2. Основы инновационных технологий физико-технической обработки материалов	50
2.1. Лазерная обработка	50
2.1.1. Принцип работы лазеров.....	50

2.1.1.1. Параметры и характеристики лазеров	52
2.1.1.2. Схемы и конструкции лазеров	54
2.1.1.3. Лазерные комплексы	60
2.1.2. Технологии лазерной обработки материалов	64
2.1.2.1. Лазерная обработка отверстий	65
2.1.2.2. Лазерная термическая обработка	69
2.2. Плазменная обработка	72
2.2.1. Физическая сущность генерирования плазмы	72
2.2.2. Плазмообразующие среды	73
2.2.3. Ввод компонентов плазмообразующей среды в электрическую дугу	75
2.2.4. Устройство плазмотронов	77
2.3. Электроэрозионная обработка материалов	78
2.3.1. Физические основы электроэрозионной обработки материалов	79
2.3.2. Качество обработанной поверхности	84
2.3.3. Основные параметры электроэрозионной обработки	88
2.3.4. Виды электроэрозионной обработки	92
2.3.5. Электроды-инструменты	96
2.3.5.1. Особенности конструкций электродов-инструментов	96
2.3.5.2. Материалы для электродов-инструментов	98
2.3.6. Рабочие жидкости	99
2.3.7. Технологические основы электроэрозионной обработки	101
2.3.7.1. Последовательность операций при электроэрозионной обработке	101
2.3.7.2. Производительность	102
2.3.7.3. Качество поверхности при электроэрозионной обработке	105
2.3.7.4. Точность при электроэрозионной обработке размеров ..	107
2.3.7.5. Область технологического использования электроэрозионной обработки	108
2.4. Ультразвуковая обработка материалов	110
2.4.1. Физические свойства и особенности распространения ультразвука	110
2.4.2. Принцип действия установок для генерации ультразвуковых колебаний	112
2.4.3. Физическая сущность ультразвуковой обработки	114
2.5. Основы аддитивных технологий формообразования деталей и узлов	119
2.5.1. Общие сведения об аддитивных технологиях	119
2.5.2. Лазерные аддитивные технологии	121
2.5.2.1. Лазерная стереолитография	121

2.5.2.2. Лазерное спекание	124
2.5.2.3. Лазерное ламинирование	125
2.5.3. Технологии струйной трехмерной печати	126
2.5.3.1. Струйная печать с использованием фотополимера	126
2.5.3.2. Струйная печать с использованием твердеющего материала	128
2.5.3.3. Струйная печать склеиванием	129
2.5.3.4. Применение аддитивных технологий	131
2.5.3.5. Технологии непрерывной объемной печати	132
2.5.4. Аддитивные технологии в литейном производстве	134
2.5.4.1. Общие сведения о применении аддитивных технологий в литейном производстве	134
2.5.4.2. Применение аддитивных технологий для изготовления литейных форм	136
2.5.4.3. Применение аддитивных технологий для производства моделей	138

Глава 3. Инновационные технологии деформирования металлов и сплавов

3.1. Высокоскоростная штамповка листового материала	140
3.1.1. Штамповка взрывом	141
3.1.2. Электрогидроимпульсная штамповка	145
3.1.3. Магнитно-импульсная штамповка	150
3.1.4. Штамповка с применением ультразвука	153
3.2. Обработка материалов методами локальной пластической деформации	154
3.2.1. Ротационно-локальное формообразование изделий сложного профиля из листового материала	155
3.2.2. Ротационная вытяжка	162
3.3. Гидропластическая обработка материалов	166
3.3.1. Гидропластическая формовка трубчатых заготовок	166
3.3.2. Гидропрессование	171
3.4. Горячее прессование	177
3.5. Процессы прокатки материалов	184
3.5.1. Поперечно-клиноватая прокатка заготовок	184
3.5.2. Поперечная накатка зубчатых колес	191
3.5.3. Процессы многовалковой прокатки	192
3.5.4. Совмещение непрерывных деформационных процессов	196
3.5.5. Совмещенная ультразвуковая и электропластическая обработка	198
3.6. Объемная штамповка на базе многоплунжерных гидравлических прессов	202

3.7. Обработка сплавов в состоянии сверхпластичности	206
3.7.1. Газостатическая формовка листового материала в состоянии сверхпластичности.....	212
3.7.1.1. Негативная формовка.....	213
3.7.1.2. Реверсивная формовка.....	214
3.7.1.3. Позитивная формовка.....	215
3.7.2. Совмещенная сверхпластическая формовка и диффузионная сварка.....	217
3.7.3. Объемная штамповка в режиме сверхпластичности.....	220
3.8. Обработка материалов с памятью формы	224
3.8.1. Механизмы образования эффекта памяти формы	224
3.8.2. Технология производства сплавов с эффектом памяти формы	227
3.8.3. Применение материалов с памятью формы	228
Глава 4. Технологические особенности высокоэффективных процессов литья	232
4.1. Вакуумная формовка.....	232
4.2. Производство высокоточных сложных отливок по разовым моделям	236
4.2.1. Литье по выплавляемым моделям	237
4.2.2. Литье по газифицируемым моделям.....	241
4.3. Суспензионное литье.....	247
4.4. Литье с направленной кристаллизацией	249
4.5. Производство отливок с монокристаллической структурой	254
4.6. Литье изделий с аморфной структурой.....	257
4.6.1. Аморфное состояние сплавов	257
4.6.2. Обозначение и свойства аморфных материалов.....	259
4.6.3. Способы получения аморфных металлических сплавов.....	261
4.6.3.1. Получение аморфной структуры методами закалки расплава.....	261
4.6.3.2. Физические методы получения аморфной структуры.....	265
4.6.4. Применение изделий из аморфных сплавов.....	266
4.7. Литье под регулируемым давлением	269
4.7.1. Литье под низким давлением	271
4.7.2. Литье под высоким давлением	275
4.7.3. Литье с кристаллизацией под давлением.....	281
4.8. Электрошлаковое литье	284
4.9. Непрерывное литье монолитных заготовок	289
4.9.1. Непрерывное литье многослойных заготовок.....	294
4.10. Комбинирование процессов литейного производства и обработки давлением	297

Глава 5. Инновационные технологии резки и сварки в машиностроении	301
5.1. Фрикционная обработка материалов.....	301
5.1.1. Фрикционная резка.....	301
5.1.2. Фрикционное плакирование.....	303
5.1.3. Сварка трением с перемешиванием слоев.....	305
5.2. Взрывные технологии.....	311
5.2.1. Общие сведения о явлении взрыва.....	311
5.2.2. Взрывные технологии разделения конструкций.....	312
5.2.3. Сварка взрывом.....	315
5.3. Сварка прокаткой.....	323
5.4. Диффузионная сварка.....	326
5.5. Электронно-лучевая сварка.....	330
5.6. Электрошлаковая сварка.....	334
5.7. Плазменная сварка.....	339
5.8. Ультразвуковая сварка.....	342
5.9. Лазерная резка.....	346
5.9.1. Лазерная резка металлов.....	346
5.9.2. Лазерная резка неметаллических материалов.....	352
5.10. Плазменная резка.....	354
Глава 6. Основы инновационных технологий формирования покрытий	359
6.1. Высокотемпературные покрытия.....	359
6.1.1. Материалы высокотемпературных покрытий.....	359
6.1.2. Методы получения металлических порошков.....	362
6.1.2.1. Газовая атомизация.....	363
6.1.2.2. Вакуумная атомизация.....	365
6.1.2.3. Центробежная атомизация.....	366
6.1.3. Технологические основы процессов газотермического напыления.....	366
6.1.4. Газопламенное напыление.....	368
6.1.5. Электродуговая металлизация.....	370
6.1.6. Вакуумное конденсационное напыление покрытий.....	371
6.1.7. Детонационно-газовые покрытия.....	373
6.1.7.1. Применение детонационных покрытий.....	376
6.1.8. Плазменная наплавка.....	378
6.1.8.1. Плазменная наплавка проволокой.....	378
6.1.8.2. Плазменно-порошковая наплавка.....	381
6.1.9. Применение ультразвука при электродуговой наплавке.....	384
6.2. Нанопокрyтия.....	387

6.2.1. Методы получения нанодисперсных порошковых материалов	387
6.2.2. Методы получения нанопокровтий	388
6.3. Полимерные покрытия	393
6.3.1. Материалы покрытия.....	393
6.3.2. Способы нанесения полимерных покрытий	396
Рекомендуемая литература	401